

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

© 2012 Г.С. Розенберг, С.В. Саксонов, Р.С. Кузнецова, С.А. Сенатор

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Поступила 14.03.2011

Рассматриваются преимущества дистанционных методов зондирования в ландшафтно-экологических исследованиях, приводятся примеры использования материалов космической съемки в экологических исследованиях, говорится о применимости космических снимков в биоиндикации и об опыте применения материалов аэрофотосъемки в ИЭВБ РАН.

Ключевые слова: методы дистанционного зондирования, космические снимки, мониторинг, биоиндикация.

I. НАЗЕМНЫЕ МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведение наземных мониторинговых исследований за состоянием, динамикой, а часто и деградацией природных комплексов имеет целый ряд достоинств. Прежде всего, это высокая степень оценки их современного состояния, достаточно полное выявление причин наблюдаемых и вероятных структурно-функциональных изменений биотических компонентов и адресная индексация источников и факторов негативного внешнего воздействия. Однако, пожалуй, главным недостатком подобных исследований является их локальный, а зачастую – точечный характер и ограниченные возможности прогнозирования изменений, происходящих на региональном и более высоком уровне. Следует подчеркнуть, что наблюдаемые изменения в природной среде затрагивают все ее компоненты и отражаются на всех ее составляющих. В связи с этим необходима интегральная оценка состояния природных комплексов и их сочетаний, т.е. ландшафтный мониторинг.

Приоритетность данного направления исследований подчеркивается усиленным вниманием, уделяемым в настоящее время проблемам охраны природы и прогнозам состояния окружающей среды, а также необходимостью рассмотрения природных и антропогенных процессов и явлений в динамике. Динамические и эволюционные процессы, происходящие в ландшафтах, являются главным предметом современных исследований целого комплекса наук географического и биологического направлений. Динамика ландшафтов и их компонентов связана с их функционированием, которое обеспечивает устойчивость и сохранение ландшафтных структур. В то же время, развиваясь, элементы ландшафта ведут к их преобразованию.

Розенберг Геннадий Самуилович, д.б.н., проф., чл.-корр. РАН, e-mail: genarozenberg@yandex.ru; *Саксонов Сергей Владимирович*, д.б.н., проф., e-mail: sv saxonoff@yandex.ru; *Кузнецова Разина Саитнасимовна*, к.б.н., н.с.; *Сенатор Степан Александрович*, к.б.н., н.с., e-mail: stsenator@yandex.ru.

Поиск закономерностей динамики и эволюции природной среды в условиях меняющихся окружающих факторов и постоянно усиливающегося антропогенного воздействия с целью разработки прогнозов развития природных явлений является приоритетной задачей науки. Решение поставленной задачи осуществляется в различных аспектах, в том числе в рамках Международной программы изучения биосферы, литосферы и климата, где большое внимание уделяется космическим методам исследований. Одним из основных направлений и разделов космических методов являются исследования динамики природных процессов, который базируется на использовании совокупности разновременных снимков на одну и ту же территорию, и на космическом мониторинге.

II. КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Обозначенные выше современные тенденции развития ландшафтного мониторинга требуют адекватных методов исследований. Для комплексного изучения взаимосвязанных процессов, происходящих в природной среде в последние десятилетия, активно используются методы дистанционного зондирования Земли. Проводятся крупные космические проекты, нацеленные на природно-ресурсные и экологические космические исследования. Осуществляются регулярные наблюдения земной поверхности для решения конкретных хозяйственных задач, а также для проведения фундаментальных научных исследований.

Преимущества дистанционных методов исследования – это высокая степень интегрирования информации во времени и пространстве, возможность одновременного отслеживания множества параметров природной среды, доступность для анализа не точечной, а пространственной информации. Применение этих методов позволит создать цельную, объективную, всестороннюю картину состояния природно-антропогенных комплексов региона, которая станет базой для стратегического планирования его развития.

Дистанционные методы исследования представляют особый интерес еще и потому, что они дают возможность фиксировать естественные либо связанные с деятельностью человека изменения, происходящие за период наблюдения. На основании полученных данных о естественной исходной уязвимости и фактической нарушенности можно построить матрицу рекомендуемой степени и форм эксплуатации территории (при вариациях степени эксплуатации от защитной до эксплуатационной с ограничениями). Таким путем может быть получена основа для сопряжения природного потенциала и состояния природных систем региона с экономическими предпосылками ее освоения.

Самарская область отличается исключительно высоким уровнем промышленного и агропромышленного развития и, как следствие, испытывает высокую степень антропогенного воздействия. Результатом разноплановых действий, направленных на эксплуатацию и преобразование природных экосистем, среди которых важнейшими стали создание агроценозов, добыча полезных ископаемых (в том числе открытым способом), прокладка транспортных коммуникаций, урбанизация, промышленное производство, зарегулирование речного стока водохранилищами и пр., является мозаичное расчленение природного ландшафта по всей территории области, а в особенности плотно заселенных ее частях.

Столь выраженная неоднородность, при значительной площади территории области и проблемного мониторинга отдельных участков по ряду причин (среди которых – недостаток дорожной сети, сложные гидрологические условия), усложняет проведение мониторинга в его классическом наземном варианте и делает настоятельной необходимостью использование космических средств и методов дистанционного исследования за ландшафтными комплексами. Современные космические технологии предоставляют широкий спектр информационных материалов, позволяющих решать самые различные задачи.

Так, например, даже снимки с низким пространственным разрешением могут быть использованы при мониторинге и классификации лесных массивов по составу жизненных форм древесного яруса. Дешифрирование таких снимков проводится с учетом изменчивости отражательной способности растительного покрова, которая меняется в зависимости от состава и структуры лесов, от времени суток, от сезона и т.д. В зависимости от поставленных задач подбирается оптимальное время съемки. При изучении лесов на территории Тувы были использованы космические снимки NOAA/AVHRR за 15 марта 1995 г., 13 января и 28 апреля 1999 г. с разрешением на местности 1 км. В работе были использованы данные каналов радиометра AVHRR 1 (0,58-0,68 мкм), 2 (0,72-1,1 мкм) и 5 (11,5-12,5 мкм) [10].

Применение технологий компьютерной обработки и приемов количественного анализа материалов дистанционного зондирования дает возможность выявить количественные параметры, отражающие связь между изменениями климатических условий и соответствующими изменениями экосистем. Методика индикационного дешифрирования позволяет выявлять и анализировать развитие скрытых природных процессов. Так, использование ряда спектрально-аналитических фотоснимков МК-4 и ряда сканерных космических снимков МСУ-СК и Landsat-7 на различные даты съемки, разномасштабную съемку и с различным разрешением позволили провести количественный анализ пространственной структуры агрогеосистем поречий южно-таежного Прикамья [13], который показывает зависимость агроландшафтного рисунка поречий от климатических условий.

Использование в полевых геоботанических исследованиях крупномасштабных аэрофотоснимков, среднемасштабных космоснимков, полученных в разных спектральных диапазонах, позволяют выявлять структурно-динамическую организацию растительных сообществ контакта лесов и степей [12]. В условиях меняющегося климата проблема структурных изменений растительных сообществ в зонах контакта контрастных природных условий является актуальной и для территории Самарской области.

Материалы космической съемки активно используются при исследованиях динамики лесовосстановления после пожаров. Индикаторами восстановительной динамики являются различные признаки лесных экосистем, которые с определенной достоверностью указывают на изменение во времени их состава и структуры. Так, в работе по изучению динамики зарастания гарей [6] при денситометрической обработке космических снимков КФА-1000 и анализе данных космической сканерной съемки MODIS одним из признаков восстановительной динамики лесов послужили значения уровней яркости изображения.

Для промышленно развитых регионов, какой является Самарская область, весьма актуальна проблема деградации растительного покрова. Необходим мониторинг для принятия мер по уменьшению техногенного воздействия, который целесообразно осуществлять на основе материалов космической съемки. Так, в работе [14] представлены результаты по изучению сезонной динамики растительности Кольского полуострова по снимкам, полученным со сканирующего спектрорадиометра среднего разрешения MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer). Для этих снимков характерны узкие спектральные каналы (36 каналов в диапазоне 0,405-14,385 мкм), что позволяет получать различные характеристики растительности, в том числе индекс листовой поверхности, индекс фотосинтетически

активной радиации, поглощаемой растительностью, характеристику первичной продуктивности и др. В указанной работе использовались снимки, практически полностью охватывающие вегетационный период 2000 г. Путем анализа синтезированных снимков по спектральным зонам и построения карт индексов NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс) и EVI (усовершенствованный вегетационный индекс) изучалась сезонная динамика растительности. Автор заключает, что по снимкам данного типа можно успешно проводить анализ сезонной динамики типов растительности и перспективно их использовать при фенологической коррекции в исследованиях многолетней динамики растительности.

В отличие от съемки в оптическом диапазоне радиолокационная съемка обладает рядом преимуществ, таких, как проникновение сквозь облачность, независимость от светотеневой обстановки, всепогодность, высокое пространственное разрешение, чувствительность к влажности зондируемого объекта, проникновение внутрь растительного покрова и почвы. Радиолокационная съемка успешно применяется при выявлении типологического состава растительности, оценке наземной биомассы на лесных территориях и при определении лесотаксационных параметров. В работе [8] анализируются вопросы применения данных с ИСЗ «Radarsat» для картирования растительности на восточной окраине Западной Сибири. Кроме яркостных свойств радиолокационной информации в анализе применялись текстурные характеристики изображения и данные о рельефе местности. Соответственно зональному делению территории были выделены тестовые участки и по каждому из них созданы сигнатуры основных классов растительности и выполнен их сравнительный анализ, что позволило значительно детализировать типологическую классификацию растительности.

При отсутствии данных наземных обследований для выполнения экологического мониторинга возможно комплексное использование материалов космической сканерной и спектральной аэрофотосъемки. Для выполнения экологического мониторинга на региональном уровне наибольший интерес представляют многозональные сканерные космические снимки, а для локального мониторинга – цветная спектральная аэрофотосъемка. Так, для экологического мониторинга труднодоступных территорий Сибири и Крайнего Севера [1] использовались космические снимки, полученные аппаратурой МСУ-Э в диапазонах 0,5-0,6; 0,6-0,7 и 0,8-0,9 мкм и спектральные аэрофотоснимки, изготовленные на пленке СН-10 в диапазонах чувствительности 0,57-0,67 и 0,84-0,86 мкм примерно на один сезон, но разные годы. Многозональные сканерные космические снимки, благодаря наличию зеленого канала, позволяют более детально дешифрировать классы

растительности, в частности, основной породный состав лесов, выделять растительные комплексы, выделять несколько категорий нарушенных земель по степени нарушенности растительного покрова, обнаруживать сильные загрязнения водной поверхности. Полученные результаты могут быть использованы в геоинформационных технологиях для создания серий карт экологического состояния территории на региональном уровне.

III. ПРИМЕНИМОСТЬ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ В КОСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

В экологических исследованиях довольно широкое развитие получило индикационное направление, ставящее своей задачей использование биологических объектов, как показателей среды. В случае использования материалов космической съемки наибольший интерес представляют индикационные исследования, которые оперируют с растительными индикаторами. Теоретической основой использования растений, как индикаторов, является тесная взаимосвязь и взаимозависимость всех элементов природной среды, о которых еще провозглашал в своих концепциях В.В. Докучаев [5].

Индикаторами в геоботанике называются отдельные виды растений или растительные сообщества, связанные с определенными экологическими условиями [3]. Кроме того, в качестве индикаторов условий среды могут выступать индикационные признаки растений, т.е. способности отдельных видов или сообществ реагировать на изменения условий среды, хотя при этом они могут и не являться индикаторами этих условий. Например, можно судить о близости грунтовых вод не по присутствию какого-то вида, не связанного с наличием грунтовых вод, а по продолжительности периода его цветения.

При обработке материалов дистанционного зондирования по индикаторам или индикационным признакам, объектами индикации могут быть отдельные типы природных явлений, например, типы, подтипы и различия почв; их отдельные свойства (различия по механическому или химическому составу); присутствие в подстилающих породах тех или иных химических элементов, доступных для растений; определенные черты пространственной структуры физико-географической среды, а также процессы, протекающие в ней.

Известно, что растительность тесно связана с условиями увлажнения. Некоторые виды связаны с временным весенним увлажнением (например, растения-эфемеры) некоторые – с проточными грунтовыми водами и произрастают в долинах рек; растения аридных областей тесно связаны с залеганием подземных вод. Связь растительности с грунтовыми водами осуществляется через корневую систему, и по мощности корневой системы

отдельных видов растительности можно судить о глубине залегания грунтовых вод.

При индексации подземных вод по растительности необходимо учитывать, каким путем они влияют на распределение самой растительности. Каждый вид растений приспосабливается к условиям произрастания: одни виды проникают мощной корневой системой до водоносных горизонтов, у других корневая система контактирует с капиллярной каймой грунтовых вод, третьи питаются за счет внутриводосного испарения и конденсации [3]. По характеру растительности можно судить и о химическом составе грунтовых вод. Иногда растительные сообщества, даже не будучи напрямую связанными с подземными водами, являются индикаторами для определения условий их генезиса.

Связь растительности с почвенным покровом не вызывает сомнений с древних времен. На сегодняшний день вопрос состоит лишь об усовершенствовании практики индикации и обнаружении более надежных индикаторов. Поэтому можно рассматривать связь растительности с материнскими почвообразующими породами. Влияние породы на растительность может осуществляться через почву и непосредственно в случае глубокого проникновения корневой системы растений. Благодаря свойствам материнских пород формируются те или иные разности почв, влияющие на характер растительности.

Еще одним аспектом геоботанического индизирования является использование растительности в биогеохимических исследованиях ландшафтов, т.е. исследованиях миграции химических элементов в ландшафте. Известно, что миграционная способность элементов зависит от климатических условий, поэтому в разных природных зонах свой характерный набор элементов.

Приуроченность растений к породам с определенным химическим составом может происходить по разным причинам. Некоторые виды могут быть приурочены к участкам, где наблюдается избыток какого-либо элемента или вслед за распространением этого элемента распространяется и растительность на несвойственные для ее произрастания участки. Для индикации процессов солевого обмена, происходящих в ландшафтах, учитывается флористическое и физиономическое своеобразие растительного покрова.

Большое значение для многих растений имеет насыщенность почвы легкорастворимыми питательными веществами. От содержания солей зависит и характер растительности. Так, например, на нитратных почвах развивается рудеральная растительность, на почвах с повышенным содержанием хлоридов развиваются галофиты, которые достаточно точно индизируют не только засоленность почвенного покрова, но и степень и тип засоления. Степень засоленности почв сказывается на анатомическом строении и на морфологиче-

ском облике галофитов. Это делает их легко опознаваемыми физиологически и перспективными в качестве индикаторов использовать для исследования по материалам космической съемки засоления почв и пород.

Тот факт, что определенные виды растений и сообществ с господством этих видов позволяют опознавать почвы и подстилающие породы с преобладанием карбонатов, гипса, нитратов и нитритов, хлоридов и, таким образом, выявлять относительное богатство определенного ландшафта этими соединениями, т.е. определять одну из его важных геохимических характеристик, делает возможным индикацию солевого состава субстрата по растительному покрову.

Что касается использования материалов космической съемки при исследованиях почвенного покрова, его засоленности и условий увлажнения по характеру растительности, то необходимо отметить о качественном их изменении в последние десятилетия. Появление данных космической съемки с высоким пространственным и радиометрическим разрешением, широкие возможности компьютерной обработки данных определяют перспективность исследований в области индикационной геоботаники.

IV. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИЭВБ РАН

В Институте экологии Волжского бассейна РАН имеется совсем небольшой опыт использования материалов аэрофотосъемки. В конце 80-х годов еще продолжался процесс переформирования берегов Куйбышевского водохранилища после его заполнения. Хотя по проекту предполагалось, что к этому времени он должен был уже стабилизироваться. В связи с этим вопрос исследования динамики абразионных явлений береговой линии водохранилища стоял остро.

Для анализа динамики процессов переработки берегов были использованы аэрофотоснимки повторных залетов одного и того же участка, выполненных с периодичностью в 2-5 и более лет. С применением методики, разработанной в лаборатории аэрометодов производственного объединения Аэрогеология [7], по снимкам (рис.) были проведены замеры и получены количественные величины отступления и площади размыва берегов водохранилища [4]. По объективным причинам эти работы в рамках института не имели продолжения, и применение методов дистанционного зондирования в его деятельности, к сожалению, прекратилось.

Институт экологии в большей степени имеет биологическую направленность, поэтому в своей исследовательской деятельности применяет и разрабатывает методы, связанные с биологическими объектами. Одним из таких методов явля-

ется метод биоиндикации, который, на наш взгляд, имеет широкие возможности в использо-

вании при обработке космических материалов.

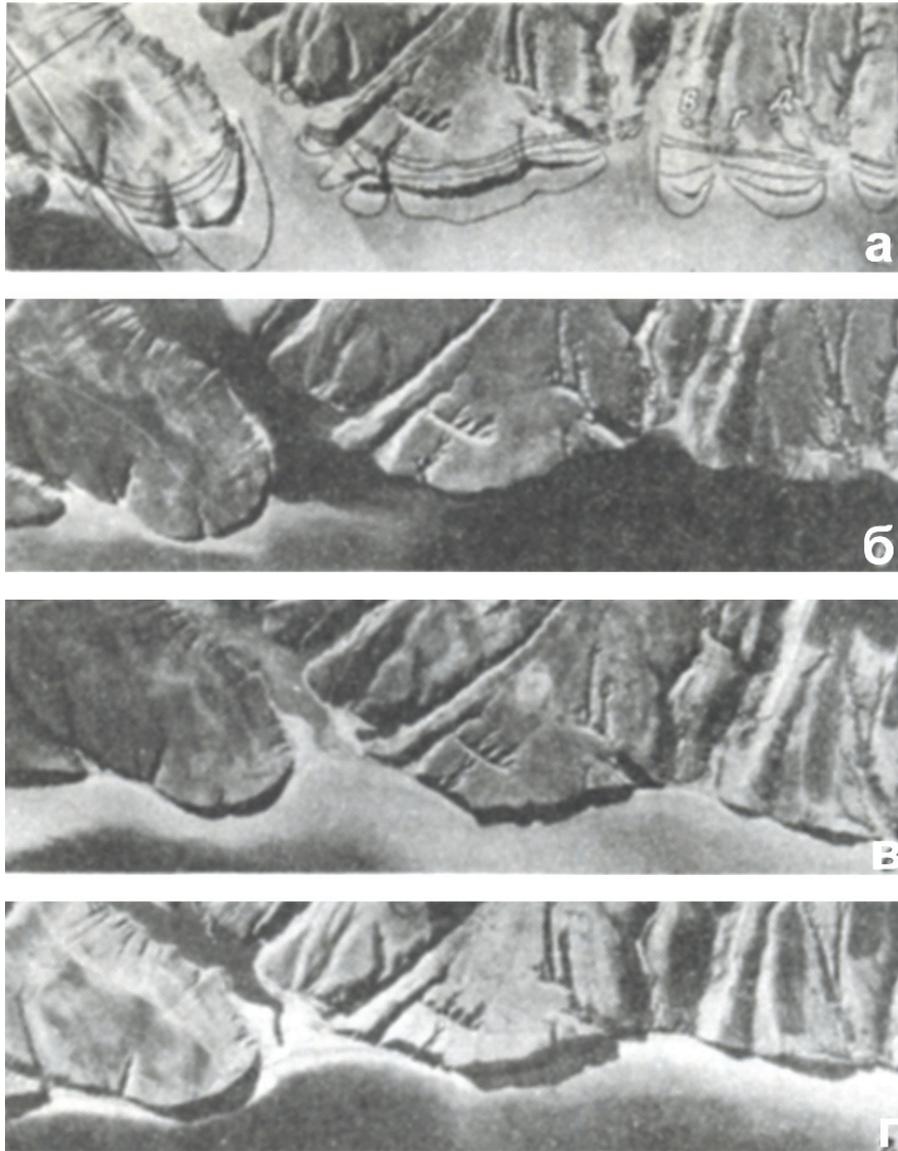


Рис. Фрагменты повторных аэрофотоснимков по которым определялись площади размыва берегов Куйбышевского водохранилища

В рамках ИЭВБ РАН была издана коллективная монография [2], где проанализированы некоторые теоретические аспекты биоиндикации, рассмотрены количественные методы геоботанической индикации и предложены методические рекомендации индикационного процесса при дешифрировании материалов дистанционного зондирования.

В частности, исходя из того, что важной чертой любого ландшафта является его внешний облик, предложено учитывать физиономичность индикаторов. Растительные сообщества, отображаемые на снимках, образуют мозаичный рисунок, который часто связан со скрытыми условиями и несет самостоятельную индикационную информацию. Предложено использовать термин «фитоценотический рисунок», который представляет собой географическое образование, созда-

ваемое комплексом физико-географических факторов.

Рассмотрены и проанализированы различные методы количественного анализа биоиндикационных исследований, предложены критерии качества методов фитоиндикации и рассмотрены вопросы определения достоверности индикационных связей. Все это может послужить хорошей основой при обработке материалов космического мониторинга.

В настоящее время в институте работают специалисты по геоботанике, которые имеют обширный материал по изучению растительных сообществ лесостепной и степной природных зон. В частности, довольно хорошо изучена галофитная растительность, которая в Самарской области встречается в речных долинах, бессточных понижениях Низменного Заволжья и на склонах и межувальных понижениях Общего Сырта [10]. Она

связана с солончаками, солонцами и засоленными разностями зональных и интразональных почв – черноземов, темно-каштановых, луговых – и к настоящему времени хорошо изучена в центральных и южных районах области [11].

Как отмечалось выше, галофитная растительность является индикатором засоленности почв. А исследования по определению богатства почв хлоридами и сульфатами имеют исключительно большое значение при почвенно-мелиоративных и гидромелиоративных изысканиях в регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Г.Г., Беляева Н.В., Чабан Л.Н. Комплексное использование материалов космической и аэрофото-съемки в геоинформационных технологиях экологического мониторинга труднодоступных территорий Сибири и Крайнего Севера // Исследование Земли из космоса. 2004. № 4. С. 63-72.
2. Биоиндикация: теория, методы, приложения / Под ред. Г.С. Розенберга. Тольятти, 1994. 266 с.
3. Викторов С.В., Востокова Е.А., Вышивкин Д.Д. Введение в индикационную геоботанику. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. 227 с.
4. Динамика ландшафтов в зоне влияния Куйбышевского водохранилища / Под ред. В.Г. Беспалого, В.М. Фирсенкова. СПб.: Наука, 1991. 224 с.
5. Докучаев В.В. К учению о зонах природы // Избранные труды. Сельхозгиз. М.: 1949.
6. Жирин В.М., Сухих В.И., Шаталов А.В., Бутусов О.Б., Эйдлинка С.П. Использование космических снимков для изучения динамики зарастания гарей // Исследование Земли из космоса. 2004. № 5. С. 69-76.

7. Зубенко Ф.С. К оценке величин размыва береговой водохранилищ // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л., 1970. Вып. 59.

8. Ил С.Т., Горожанкина С.М., Харук В.И., Рэнсон Дж. К. Картирование растительности на основе съемки «Radarsat» // Исследование Земли из космоса. 2004. № 4. С. 30-40.

9. Куулар Х.Б., Назимова Д.И., Федотова Е.В. Использование данных NOAA/AVHRR для изучения растительного покрова Тувы // Исследование Земли из космоса. 2005. № 2. С. 54-60.

10. Лысенко Т.М., Иванова А.В., Митрошенкова А.Е., Бобкина Е.М., Васюков В.М., Савенко О.В., Сенатор С.А. Сообщества галофитов в Самарском Заволжье как индикаторы засоления почв // Изв. Самарского НЦ РАН. Спец. вып. 2008. С. 262-269.

11. Лысенко Т.М., Карпов Д.Н., Голуб В.Б. Галофитные растительные сообщества Ставропольской депрессии (Самарская область) // Растительность России. 2003. № 4.

12. Сизых А.П. Пространственная изменчивость растительных сообществ зоны контакта «лес-степь» по аэрокосмическим снимкам разных лет съемки (западное побережье оз. Байкал) // Исследование Земли из космоса. 2007. № 3. С. 47-52.

13. Трапезникова О.Н. Исследование агроландшафтного и почвенно-геологического факторов на основе дешифрирования космических снимков (на примере южно-таежного Прикамья) // Исследование Земли из космоса. 2007. № 4. С. 51-61.

14. Тутубалина О.В. Изучение сезонной динамики растительности Кольского полуострова по снимкам Terra MODIS // Исследование Земли из космоса. 2006. № 1. С. 59-67.

SPACE MONITORING IN LANDSCAPE-ECOLOGICAL RESEARCHES

© 2012 G.S. Rozenberg, S.V. Saksonov, R.S. Kuznetsova, S.A. Senator

Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

Advantages of remote sounding methods in landscape-ecological researches are considered, examples of use of space shooting materials in ecological researches are resulted, applicability of space pictures in bioindication and experience of use of aerial photography materials in the Institute of Ecology of the Volga River Basin of RAS are told about.

Key words: Remote sounding methods, space pictures, monitoring, bioindication.